

## I 原著論文

# 海産バイオマス (ナンキョクオキアミ、*Euphausia superba* Dana) 資源の多次元利用

吉富文司<sup>1)</sup>\*・大嶋俊一郎<sup>2)</sup>・高橋正征<sup>2)</sup>

### 要 旨

社会の持続性強化を目的として、再生型資源であるバイオマスを多次元利用するための概念と可能性を検討した。バイオマス資源として海産のナンキョクオキアミをとりあげ、第一段階では、食料、水産養殖飼料、そしてファインケミカル分野におけるそれぞれの資源利用に関する技術的課題を検討した。食料では、オキアミのタンパク質分解酵素活性が季節変動することを発見し、季節に応じた最適な加工と食感改良方法を開発した。水産養殖飼料では、成長を阻害するフッ素を多く含む外殻を除去し、タンパク質画分を濃縮することで魚粉と全く同じ性能の飼料原料を得る方法を開発した。ファインケミカルでは高度不飽和脂肪酸やリン脂質等を豊富に含むオキアミ眼球に着目し、その工業的な採取方法を確立した。第二段階では、開発したそれぞれの利用方法を骨格として、ナンキョクオキアミを食料、水産養殖飼料、そしてファインケミカル分野への多次元的な利用を検討した。具体的には、タンパク質分解酵素活性の高い夏季は飼料用途へ、活性の低い冬季は食料用途へ、そして飼料や食料の利用工程で排出される外殻などの残滓はファインケミカル抽出用途とした。多次元利用を行うことにより、資源確保に必要な費用が分担されて経済性が高まる。さらに同一目的のために複数資源が利用できることで一つの資源に対する利用量が少なくなり、同時に廃棄物の最少化につながる。本研究で提案した多次元資源利用を他のバイオマス資源にも適用することで、バイオマス資源の有効で最少の利用が進み、持続型社会の実現に貢献することが期待される。

キーワード：ナンキョクオキアミ、*Euphausia superba* Dana、多次元利用、バイオマス資源、再生型資源、食料、水産養殖飼料、ファインケミカル

## 1. 緒言

20世紀は人類による非再生型な地下資源の利用が質量共に飛躍的に進んだ。その結果、人類は(1)様々な地下資源の枯渇と、(2)利用に伴う廃棄物による環境汚染、といった二つの深刻な問題に直面することになった(Brown, 2003; Government of Japan, 2003)。加えて、これまでの人類の資源利用では特定の単一目的が多く、そのために必要以上に多くの資源を浪費し、多量の廃棄物を生み出し、その処理にも多くの資源が使われた。これが、資源枯渇と環境汚染を著しく加速した。

さらに、20世紀は「必要な資源を探し出しては利用する」といったスタンスが強く、永続的な資源利用への配慮はなかった。こうした20世紀の資源利用を振り

返り、人々が希望をもって22世紀を迎えるためには、資源利用にあたり以下の喫緊課題を解決する必要がある(Takahashi, 2000)。

1) 利用する資源の非再生型から循環型(バイオマス、太陽光、風、海水など)への切り替え。

2) 用いる資源の徹底利用と廃棄物産生の極少化(ゼロエミッション; LCA (Life cycle assessment) の推進など)

3) 利用資源量の最少化と永続的な利用方法の確立。

再生型資源のうちバイオマスは20世紀中頃までは人類が利用する資源の中で重要な位置を占めていたが、やがて利用用途の多くが非再生型の地下資源に取って代わり、バイオマスの重要性は低下した。しかし、バイオマスは地下資源に比べると再生速度が圧倒的に速く、再生速度を考慮した使用を行えば持続的な利用が可能である。よって、今後は従来型ではないバイオマスの新しい高度利用を工夫し、幅広い用途で地下資源からバイオマスへの切り替えを進める必要がある。ただし、バイオマスは、本来、生態系の維持を担ってお

2007年12月18日受領; 2007年12月30日受理

1) 日本水産株式会社中央研究所  
〒192-0906 東京都八王子市北野町559-6

2) 高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科  
〒783-8502 高知県南国市物部乙200

\* 連絡責任者 e-mail address: bunjiy@nissui.co.jp

り、人類のバイオマス利用では生態系への過剰負荷を極力避けなければならない。特に、ヒトが直接関係していない海洋生態系などでは細心の注意が必要である。

海産バイオマスの中で、南極海に生息するナンキョクオキアミは、1970年代からその資源量の大きさが注目されていたが、現状は漁獲に関わる経費が高く、しかも有効な利用方法がないことから極めて低利用である (Nicol et al, 2000)。そこで、本研究ではナンキョクオキアミを対象として前述の2) と3) の喫緊課題の解決を目指し、一つのバイオマス資源を多次的で、しかも持続的な利用の可能性について検討した。

第1は、新たな食料資源としての可能性を検討し、社会としての食料安定確保の強化を目指す。世界人口は巨大化し、しかも未だに増え続けている (FAO, 2004)。そのために、人類が必要としている様々な資源の中でも大量に必要で、しかも長期保存が困難である食料確保は特に喫緊性が高い。しかし、現在、食料供給において重要な役割を担っている農作物においては耕地面積が限界に達し、加えて水資源の不足、病虫害の蔓延、多肥料施肥型農業による環境負荷増大、また畜産物では放牧面積の限界、飼料穀物の不足、家畜伝染病の蔓延 (フレイヴィン, 2006) など、それぞれに深刻な問題が生じている。また、重要な動物性タンパク質供給源のひとつである天然水産資源も、乱獲、環境汚染、そして地球規模の気候変化により資源量の変動や減少が著しい。実際にクロマグロを始め、いくつかの有用魚種は絶滅の危機に瀕しており、現在のペースで海洋生物の種多様性喪失が進行すれば、2050年頃までに多数の有用魚種の生物量が漁獲に耐えられないレベルにまで激減するとの報告もある (Worm et al, 2006)。そのため、既に利用されている海産バイオマス資源に対しては、より持続性の高い利用の工夫、資源量の維持や引き上げ努力を鋭意進めねばならないが、それだけでは水産物の持続的、安定的な供給問題は容易に解決できない。そこで、海洋の未利用バイオマス資源を探し、新しい食料資源の確保の道を検討する必要がある (Blanco et al, 2006)。

第2は、新しい飼料原料資源としての可能性を検討し、飼料の安定確保の強化を行うことである。1990年代後半から現在まで、世界の漁獲量は約9,000万トンでほぼ一定であるが、水産養殖量は徐々に増加し、2004年には約4,500万トンに達し (海藻類を除いた魚類と甲殻類)、今や重要な水産タンパク質供給産業となっている (FAO, 2004)。水産養殖の中で、特に給餌管理型養殖の代表魚種はサケ類であり、全世界で約160万ト

ン (2004年) 生産されているが、これらを含む主要養殖対象魚の飼料原料には魚粉が使用されている。2002年の世界の魚粉生産量は約640万トン (FAO, 2004) で、その主要生産国は南米のチリとペルーであるが、この2カ国で世界の魚粉生産量の4割強を占めており、多くの魚粉消費国にとって、この2カ国に対する依存度は高い。さらに、魚粉原料魚は一般に多獲性表層魚のイワシ、カタクチイワシ、アジ等だが、これらの資源量は近年の乱獲や気候変動によりきわめて不安定である。そのため、水産養殖飼料原料の新しい安定した調達先の確保が急務である。

第3は、ファインケミカルなど人の健康に関する新しい供給源や素材としての開発である。ナンキョクオキアミを食料や飼料としてすべてが利用可能であれば廃棄物はないが、例えば外殻などが利用できない場合には、その有効利用を進めて廃棄物をゼロに近づける必要がある。そのために、廃棄物からファインケミカルなど有用物質を抽出して利用する可能性を検討する。付加価値の高いファインケミカルが含まれていれば、それらの抽出が資源利用の主目的となり、代わって食料や飼料への利用がファインケミカル廃棄物の有効利用となる。

## 2. ナンキョクオキアミのバイオマス資源

### 2.1. ナンキョクオキアミの生態

「krill」はノルウェー語で「魚の幼体」を意味し、オキアミ類を表す言葉として用いられる。オキアミ類は甲殻綱、軟甲亜綱、オキアミ目に属する動物プランクトンで、全世界に広く分布しており、現在2科11属85種が知られている。オキアミの形態はエビ類に酷似しているが、ここでとりあげるナンキョクオキアミ (図1) はオキアミ類の中でも最大に成長し、体長 (目前端-尾節) は60mm以上に達する。その寿命は、5-7年と考えられている (Siegel, 1989; Nicol and Endo, 1999; Everson, 2000a)。ナンキョクオキアミは夏には活発に増殖する珪藻などの植物プランクトンを摂餌し、植物プランクトンの少ない冬には、動物プランクトンや海水中のアイスアルジーなども摂餌する (Everson, 2000a)。

南極海におけるナンキョクオキアミは二次生産者として一次生産者である植物プランクトンを摂餌し、それを動物性タンパク質に変換する役割を持っている。さらにナンキョクオキアミは鯨類、特にヒゲ鯨類の餌として知られているが、海獣哺乳類、イカ類、魚類、海鳥などの高次捕食者の餌としても、南極生態系の



Fig. 1. Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). By courtesy of Dr. Uwe Kils, Kiel University, Germany.

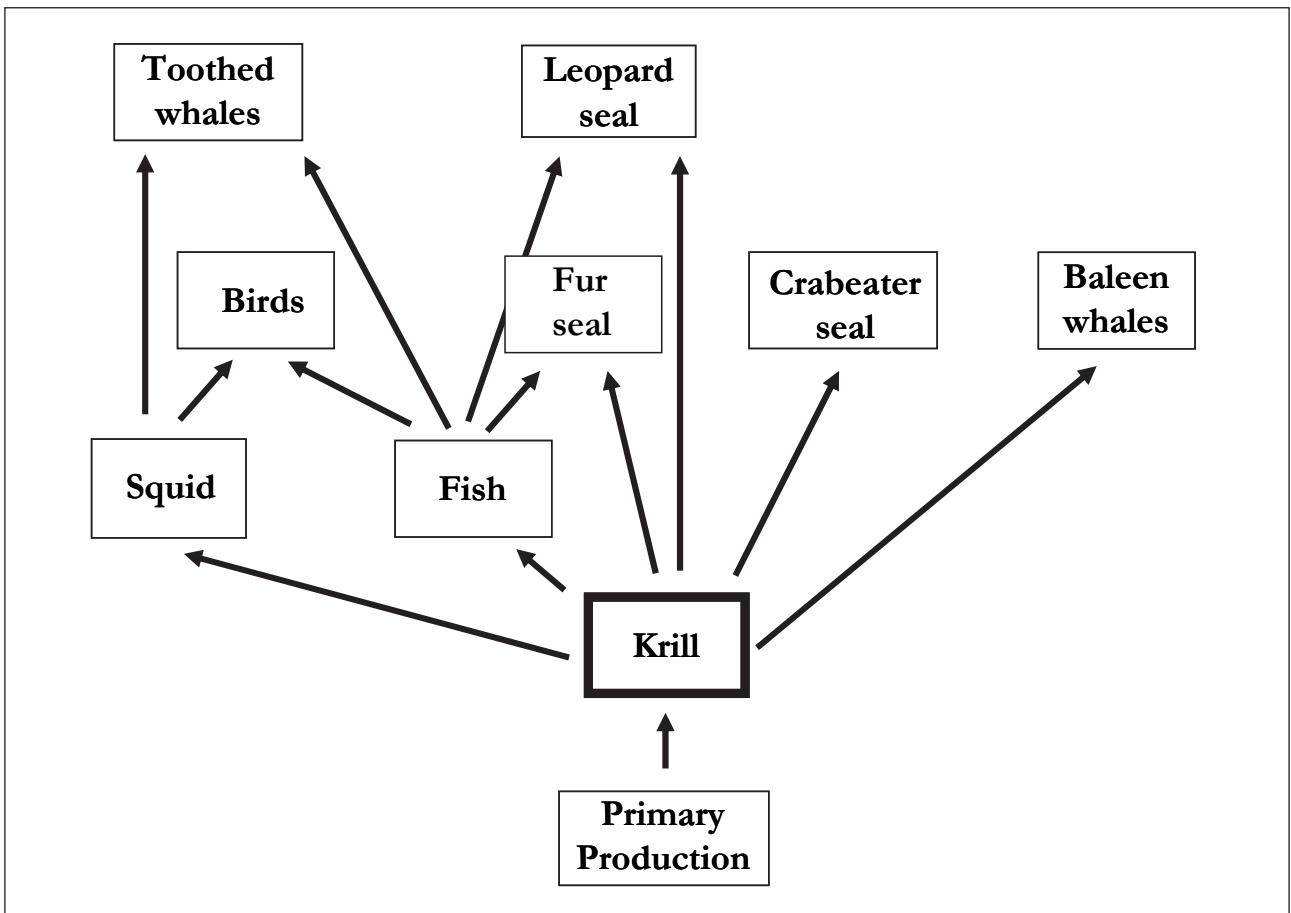


Fig. 2. Simplified representation of food web linkage in the Southern Ocean in focusing with Antarctic krill (Everson, 2000).



食物連鎖を支える重要な生物である (図2) (Everson, 2000b)。

ナンキョクオキアミの分布域は、南極前線 (南極収束線) 以南の南極表層水と呼称される海域で、季節や成熟段階によって分布は大きく異なる (Everson, 2000a)。成熟個体は初夏 (12月) から盛夏 (2月) にかけて大陸棚斜面に、未成熟個体は主に大陸棚縁辺部に分布する。いずれも表層200m以浅にパッチ (群) を形成する。

成熟したナンキョクオキアミ個体 (雌2歳以上、雄3歳以上) は夏に繁殖期を迎える。雌は1シーズンに複数回産卵すると考えられ、1回の産卵数は2,000~10,000個程度である。受精卵は約1,000m以深まで沈降し、1週間ほどで孵化する。その後、浮上しながら脱皮を繰り返し、幼生期を経て、春頃に体長20-30mmの幼体となり表層近くに分布する。秋から冬にかけて、幼体ならびに成体共に沿岸に移動し、海水直下あるいは海底付近などに分布すると考えられている (Mauchline and

Fisher, 1969; Siegel and Nicol, 2000; 永延, 2003; 川口, 2005)。

ナンキョクオキアミは通常、幼生期には脱皮間隔が短く、成長が速い。反面、成体になるにつれて、脱皮間隔が長くなり、成長は遅くなる。また、ナンキョクオキアミは南極海の特殊環境に適応するために、独特の越冬戦略を身につけている。例えば、餌の乏しい冬には、エネルギー消費を低く抑えるために脱皮して体長を収縮し、さらには性徴も後退することが実験により確認されている (Ikeda and Dixon, 1982; Kawaguchi et al, 1986; Thomas and Ikeda, 1987)。

## 2.2. ナンキョクオキアミのバイオマス資源量

「南極の海洋生物資源の保存に関する条約」に基づき、1982年に南極の海洋生物資源の保存に関する委員会 (Commission for the Conservation of Antarctic

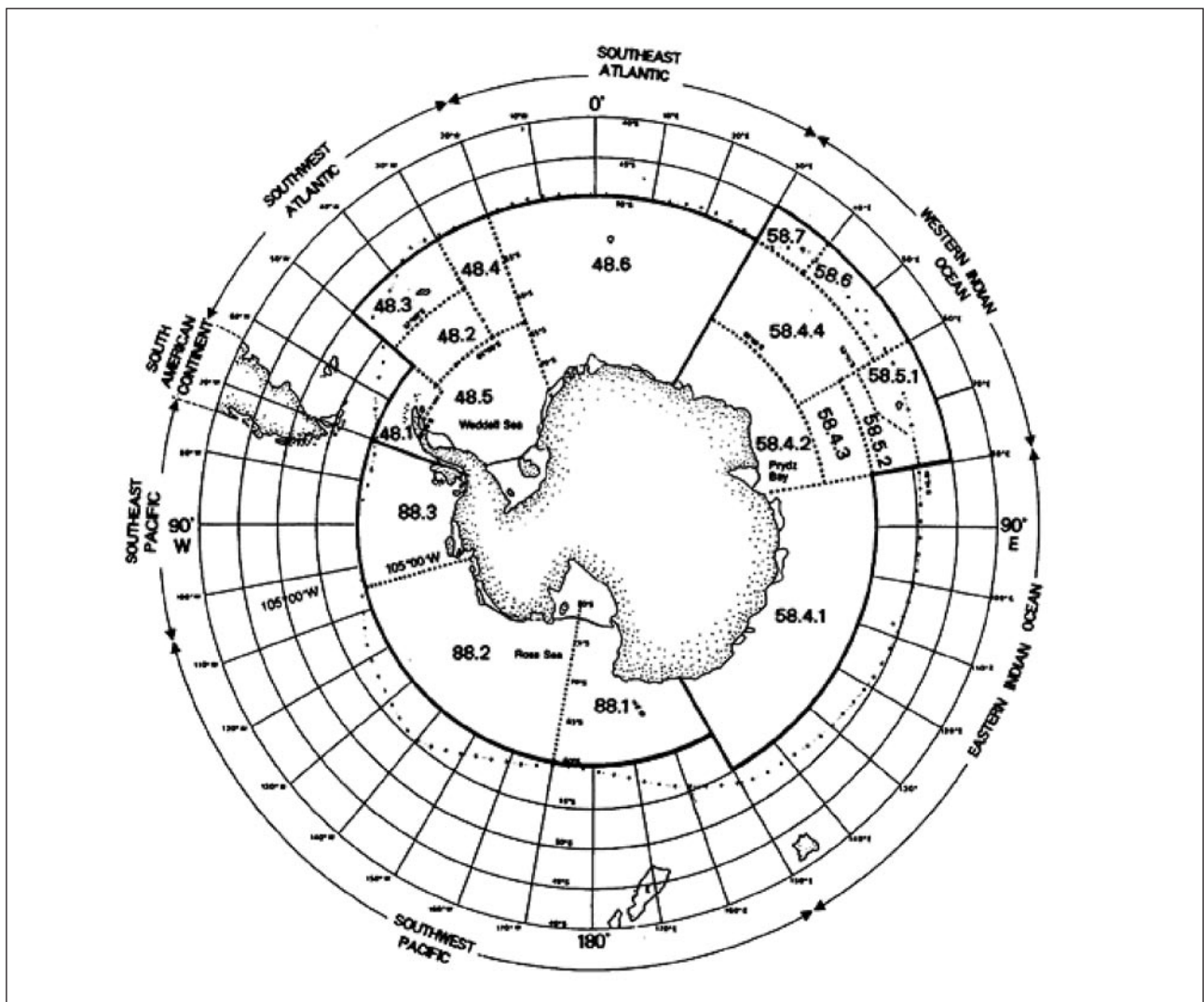


Fig. 3. Statistical areas, subareas and divisions of the CCAMLR convention area (Miller and Agnew, 2000).

Marine Living Resources: CCAMLR) が設立された。CCAMLRには我が国を含む24カ国とE Cが加盟し、南極海の生物資源保存と、その資源に関わる生態系も同時に保護するという理念のもと、ナンキョクオキアミ資源ならびにその捕食者の餌場への影響を分散する目的で上記条約に基づく水域を3海区に区分し、それぞれ、48 (大西洋区)、58 (インド洋区)、そして88 (太平洋区) 海区と称している。また、各海区はさらに小海区に分割され、海区毎に資源の保存措置が決められている (図3)。

2000年に日本、イギリス、アメリカ、ロシアの調査船によるCCAMLR科学委員会の大規模なオキアミ資源、生態、環境の国際共同科学調査が行われ、大西洋側の48海区 (大西洋区のスコシア海域) ならびにインド洋側の58海区中の2小海区 (58.41海区および58.42海区) の資源量がそれぞれ、4,429万トン、483万トン、390万トンと推定された (図3) (CCAMLR, 2000; Trahan et al, 2001; Nicol et al, 2000)。

これらの資源量推定に基づき、48海区で年間400万トン、58海区 (58.41と58.42の2小海区) 合計で年間89万トンの予防的漁獲制限量の措置が執られている。また、48海区については資源保護とペンギン、アザラシ等のオキアミ捕食者の餌場への悪影響を分散する目的で、4小海区に漁業量制限 (48.1海区で101万トン、48.2海区で110万トン、48.3海区で106万トン、そして48.4海区で83万トン) を設けている。太平洋側の88海区と58海区の一部は未調査のため適切な資源量推定値がない。そのために、予防的漁獲制限量は設けられていないが、これらの海区では開発漁業としての暫定的な漁業枠が設定されている (Nicol and Foster, 2003; 永延, 2003)。なお、現在までのナンキョクオキアミ総漁獲量の90%以上は48海区 (スコシア海域) で漁獲されている。

ナンキョクオキアミ漁業が本格的に開始された1972年以前には、南極海全体のオキアミ資源量は数10億トンに達するとの予想もあったが、現在では6,000万~1.5億トンと考えられている (Nicol and Foster, 2003)。

Atkinsonら (2004) は、スコシア海の特定期域ではナンキョクオキアミ資源は1970年代に比べて80%減少し (全スコシア海域では38%減)、鯨資源の回復にも影響を与えている、と述べている。一方、Hatanaka (2004) は、南水洋鯨類捕獲調査の一環として実施する科学魚群探知機によるオキアミ密度調査で、オキアミ分布密度に年変動を認めたが、一定した増減傾向は見られず、オキアミ資源は全体的に高水準にあり、横ばい傾向である、と報告している。

また、ナンキョクオキアミを餌料とするヒゲ鯨類の資源量については種により異なり、かつては20万頭生息したシロナガスクジラは現在、1,700頭まで減少したが、ミンククジラは8万頭から76万頭まで増加しており、ナガスクジラやザトウクジラでも同様の増加傾向が見られると報告されている (Hatanaka, 2004)。

ナンキョクオキアミの資源利用にとって資源量情報は不可欠であるが、以上述べたように資源量把握の現状は極めて不十分である。したがってより正確な資源量と変動の把握が喫緊の課題である。

## 2.3. ナンキョクオキアミの漁業とバイオマス資源利用の現状

ナンキョクオキアミ操業が世界的に始まったのは1972年からで、旧ソ連が7,400トンを漁獲した (図4) (遠洋水産研究所, 2006)。1976/77年になると漁獲は10万トン近くに増え、1978/79年には30万トンを超え、1981/82年に最大漁獲量50万トン強に達した。しかし、この後、数年間でオキアミ商品化が停滞し、漁獲対象が魚類へ移行したために漁獲量は一時大幅に落ち込んだ。しかし、1986/87年からは再び増加し、1990/91年までは35-40万トンで推移した。1992/93年には前年の20万トン強から8万トンへ激減したが、これは旧ソ連からロシアへの政治体制の変化により、採算が取れないという経済的理由で操業を中止したためである。1992/93年以降から現在までの漁獲量はほぼ年間10万トン前後で推移している。

日本船が製造したナンキョクオキアミ製品の種類と生産内訳を図5に示した (遠洋水産研究所, 2006)。漁獲されたナンキョクオキアミの大部分は船上で直ちに凍結され、「生冷凍品」として主にレジャー用釣り餌や水産養殖用餌料向けに消費されている (Nicol et al, 2000)。食用としては、船上でナンキョクオキアミの外殻を専用の機械で除去し、可食筋肉部分だけにした「生むき身」やナンキョクオキアミを沸騰海水中で煮熟した「ボイルオキアミ (殻付き)」などがあるが、わずかな量でしかない。北米ではナンキョクオキアミから脂溶性画分を抽出し、健康食品向けのオキアミオイルとして販売されており、月経前症候群、月経困難症、高脂血症、抗炎症作用 (クローン病、リュウマチ等の抑制と痛みの緩和) 等への薬理作用が報告されている (Sampalis et al, 2003; Bunea et al, 2004; Deutsch, 2007)。しかし、現在の市場規模はかなり小さい。

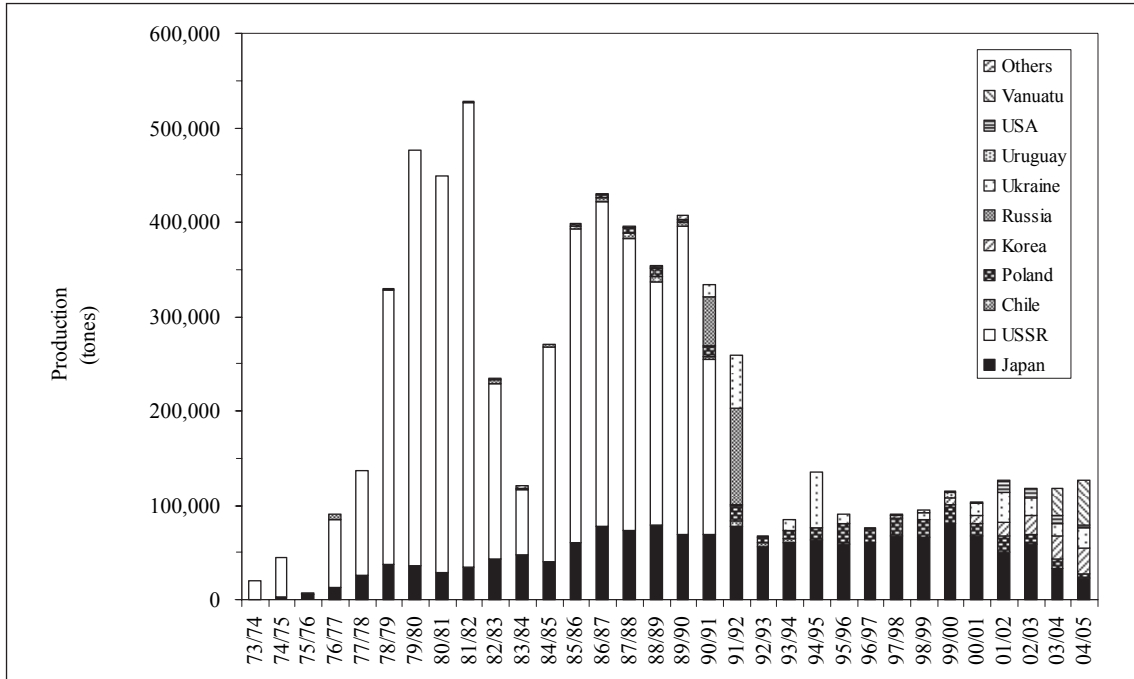


Fig. 4. Changes of yearly catch of Antarctic krill made by different nations in the Southern Ocean (National Research Institute of Far Seas Fisheries, 2006).

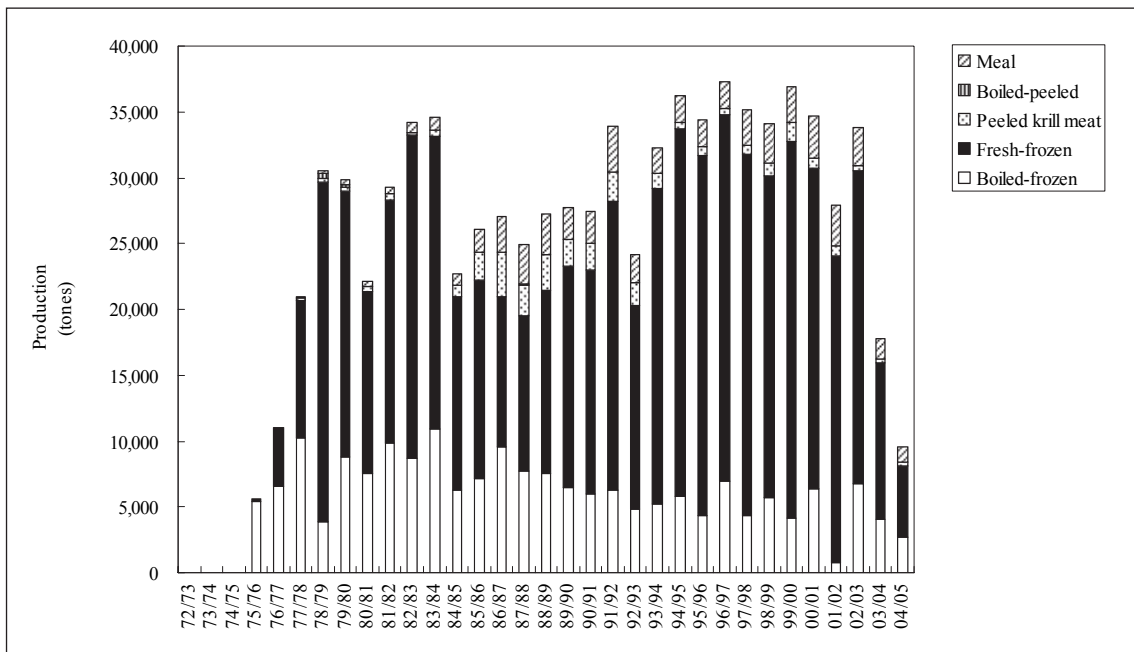


Fig. 5. Yearly changes of Antarctic krill products made by Japanese trawlers (National Research Institute of Far Seas Fisheries, 2006).

### 3. ナンキョクオキアミのバイオマス資源の利用技術開発

#### 3.1. ナンキョクオキアミ資源の食料利用

ナンキョクオキアミの食料利用では以下の3点が課題となる。

1) 内臓由来のタンパク質分解酵素活性が高

く、死後、急速に自己消化するため加工適性が低い (Ooizumi et al, 1983 ; Bykowski, 1986 ; Sjodahl et al, 2002)。

2) 摂餌した植物プランクトンが消化器官内に残留すると青臭い臭気があって食品としての価値が低下する (Gajowiecki, 1985)。

3) 外殻は薄く、しかも硬いために、そのまま食



すと殻が舌に残り、食感を大きく損ねる。また、外殻には高濃度のフッ素を含んでおり、そのままの食用には不適である (Soevik and Breakkan, 1979 ; Sand et al, 1998)。

1) の課題に関しては、ナンキョクオキアミの粗タンパク質分解酵素液 (crude krill protease : CKP) の活性 (CKP活性) が夏 (12~3月) に高く、冬 (5~8月) には夏の約数分の一の低さになるといった季節変動が確認され (Yoshitomi, 2005)、ナンキョクオキアミを食料として利用する場合はCKP活性の低い冬に漁獲して利用する方がよいことが分かった。なお、CKP活性の季節変動機構としては、酵素絶対量の増減、酵素量は一定でもその活性が増減、あるいはそれらの組み合わせなどが考えられるが詳細は今後の研究課題である。

さらに、CKPは約70℃以上に加熱すると変性して活性を失うことが明らかになり、漁獲直後のナンキョクオキアミを船上で加熱処理してCKPを加熱変性させることにより、その後の加工・保存中における自己消化がほぼ防止できることが分かった (Yoshitomi, 2005)。また、加熱処理により可食部 (筋肉部) が熱凝固し、エビ様の食感に変化することがわかった。

2) の課題に関しては、日射量が多く、餌料となる植物プランクトンが盛んに光合成を行い活発に増殖する夏には、ナンキョクオキアミは植物プランクト

ンを旺盛に摂餌、飽食し、消化管内は常に植物プランクトンで満たされている。このため、消化管は外殻を通して植物プランクトンの青緑色が確認できる (図6)。反対に、日射量が極端に少ない冬は光合成が進まないため植物プランクトンの増殖も不活発で (Keith Moore and Abbott, 2002)、ナンキョクオキアミ消化管内には餌料がなく、飢餓状態で越冬している (Nicol et al, 2000)。つまり、冬のナンキョクオキアミは胃内容物として植物プランクトンを含まず、青臭さがないため食用に適している。

前述のCKP活性と餌である植物プランクトンの有無には関係があり、夏季にはナンキョクオキアミは植物プランクトンを摂餌、消化、吸収、蓄積、そして成長するため高いCKP活性を持ち、一方、冬季は、餌がほとんどなく、CKP活性が低い。

3) の課題に関しては、ナンキョクオキアミの外殻を除去する必要がある。生鮮試料の外殻を除去する機器は既に実用化され、「生むき身」の洋上生産で使用されているが、生産歩留まりが低いなどの課題がある。一方、ナンキョクオキアミを漁獲直後に加熱処理して、脱殻する方法が1970年代に開発されている (Suzuki and Shibata, 1990)。しかし、当時の脱殻機性能が低かったため製品中に外殻等の不純物の混入が多く、しかもCKP活性の季節変動も発見されていなかったことから、漁獲時期の選択も判らなかつた。このた



Fig. 6. Heavily packed hepatopancreas of Antarctic krill shown by oval circles due to active feeding on phytoplankton in summer (Everson, 2000a).

め、製品品質が悪いまま、数年間生産されたのみで市場から消えてしまった（尾崎、1981）。その後、日本水産株式会社がロール式脱殻機を新たに開発し、改良を続けた結果、現在の脱殻機性能は1970年代より格段に進歩している。

以上の結果、ナンキョクオキアミを食用利用する場合には、(1) 適した時期を選んで漁獲し、(2) 漁獲後に直ちに加熱処理して品質低下を防ぎ、(3) 殻を除いた状態で、冷凍保存することにより良好な食用素材として利用できることを明らかにした。

### 3.2. ナンキョクオキアミ資源の水産養殖飼料利用

近年、水産養殖量は確実に伸びており、これに付随して水産養殖飼料原料としての魚粉需要が増大し、それに伴う価格高騰が懸念されている（FAO, 2004）。価格高騰には、原油高、魚粉原料魚の食品向け供給の増加、さらに魚粉原料魚漁獲量の減少も影響する。

ナンキョクオキアミを水産養殖飼料原料として使用する場合、一般的にナンキョクオキアミ乾燥物（ナンキョクオキアミミール）が用いられるが、ナンキョクオキアミミールを飼料に多く添加すると魚類の成長速度が低下することが知られていた（Koops et al, 1979）。そのため、ナンキョクオキアミミールを水産養殖飼料の主原料として積極的に利用することはこれまではほとんどなく、世界の需要も年間数千トン程度であった（日本水産油脂協会、2006）。そこで、ナンキョクオキアミを水産養殖飼料原料として利用するためには成長抑制の原因を明確にし、問題を取り除く必要がある。

ニジマス (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) を用いて飼料中の魚粉をナンキョクオキアミミールで代替して飼育すると、ナンキョクオキアミミール添加量に比例してニジマスの成長速度が劣ることが確認された（Yoshitomi et al, 2006）。この時、飼料中のナンキョクオキアミミール添加量が増えるほど、試験魚の背骨中のフッ素濃度が高くなり、成長が劣る原因としてナンキョクオキアミ外殻由来のフッ素の介在が示唆された。ナンキョクオキアミ外殻には高濃度のフッ素が含まれていることはよく知られている（Soevik and Breakkan, 1979 ; Sand et al, 1998）。そこで、ナンキョクオキアミ外殻を除去した乾燥物（低フッ素オキアミミール、Low fluoride krill meal ; LFK）の製造方法を確立し、それをを用いた飼料を使ってニジマスの成長を観察したところ、全く阻害されない結果を得た。

以上の結果、ナンキョクオキアミの外殻を除去する

ことによって、養殖魚の成長阻害をもたらすと考えられるフッ素濃度を低下させ、有効な水産養殖飼料原料とする方法を開発した。

### 3.3. ナンキョクオキアミ資源のファインケミカル利用

ナンキョクオキアミにはアスタキサンチン、ビタミンAやn-3系高度不飽和脂肪酸等が多く含まれることが知られている（柴田, 1983 ; Yamaguchi et al, 1983 ; Storebakken, 1988 ; Fisher and Kon, 1995）。また、前述したナンキョクオキアミ資源の食料および飼料利用の際に廃棄物として排出された外殻、特にその中に含まれる眼球にはアスタキサンチンやビタミンAが高濃度で含まれることが報告されている（Mori et al, 1976 ; Maoka et al, 1985）。そこで、眼球を工業的に採取する手法を検討した（Yoshitomi and Yamaguchi, 2007b）。

ナンキョクオキアミは乾燥し、水分を低下させると眼球と魚体を結合する眼柄強度が低下し、弱い物理的衝撃で眼球が魚体より簡単に脱落することが判明した。得られた粗眼球には触覚、脚、外殻等の不純物が多く含まれているが、これを風力分級で選別し、純度99.5%（眼球重量／全重量）の眼球が得られた。この眼球の詳細な化学成分分析によって、有用化学物質の存在量を確認した（Yoshitomi et al, 2007a）。ナンキョクオキアミミール中のアスタキサンチン濃度は約200-300ppmであるが、眼球にはその約20倍の5,000ppm含まれていた。さらに、溶剤による脂溶性成分抽出により、アスタキサンチン濃度は約20,000ppmまで上昇した。市販されている単細胞緑藻類ヘマトコッカス (*Haematococcus Pluvialis* Flotow) 由来のアスタキサンチン濃度が約20,000~50,000ppm前後であるため、ナンキョクオキアミ由来のアスタキサンチンもファインケミカル原料としての可能性がある。

以上の結果、食料および飼料として利用しないナンキョクオキアミ眼球の容易な採取法を開発し、眼球中に高濃度に含まれる有用ファインケミカル原料であるアスタキサンチンの効率的抽出を可能にした。

## 4. 海産バイオマス（ナンキョクオキアミ）資源の多次元利用

### 4.1. ナンキョクオキアミ資源の多次元利用

第3章で述べたように、ナンキョクオキアミを原料として用い、食料、飼料、そしてファインケミカルの三用途における有効利用方法が開発された。これらと



既存の技術を組み合わせてバイオマス資源であるナンキョクオキアミの多角的な有効利用方法を検討した。その際、資源の徹底利用により、廃棄物をゼロにすることを目標とした。

ナンキョクオキアミは南極周辺海域に生息し、厳冬期を除いて周年漁獲可能である。しかしながら、前述したようにナンキョクオキアミの品質は内在するタンパク質分解酵素活性の強弱により、夏と冬で大きく異なることが明らかとなった。

そこで、ナンキョクオキアミのタンパク質分解酵素活性が高く、しかも餌料となる植物プランクトンを豊富に摂餌、飽食し、消化管中が常に植物プランクトンで満たされ、その植物プランクトン由来の青臭い臭気を有する夏は、飼料用途を主に考えるのが妥当である。その際には、第32章で述べたように、高濃度のフッ素を含むナンキョクオキアミ外殻は魚類成長を抑制することから、先ず、ナンキョクオキアミから外殻を除き、得られた筋肉画分を乾燥して飼料用の低フッ

素オキアミミールを得る。また、第33章で述べたように、脱殻された外殻は乾燥して眼球を分離し、ファインケミカル用途に用いる。さらに残った殻画分はキチンやキトサン原料として活用する。

一方、タンパク質分解酵素活性が低い冬は、ナンキョクオキアミの餌料となる植物プランクトンも少なく、青臭い臭気もない。そこで、ナンキョクオキアミを加熱処理した後に脱殻し、得られた筋肉画分を直ちに冷凍して食料用途とする。脱殻された外殻は夏と同様に処理し、眼球と外殻を得る。上記の方法に従うと、廃棄物はほぼゼロに近い。この方法により、従来は釣り餌用途が主であったナンキョクオキアミに様々な付加価値をつけることになる。

現状のナンキョクオキアミ資源の利用では、図7の点線より上に示したように、それぞれ食料と飼料の単一目的のために漁獲して利用している。食料利用の場合、約500トンの「生むき身」を製造すると約4500トンの内臓や外殻が残渣として排出される。また、飼料

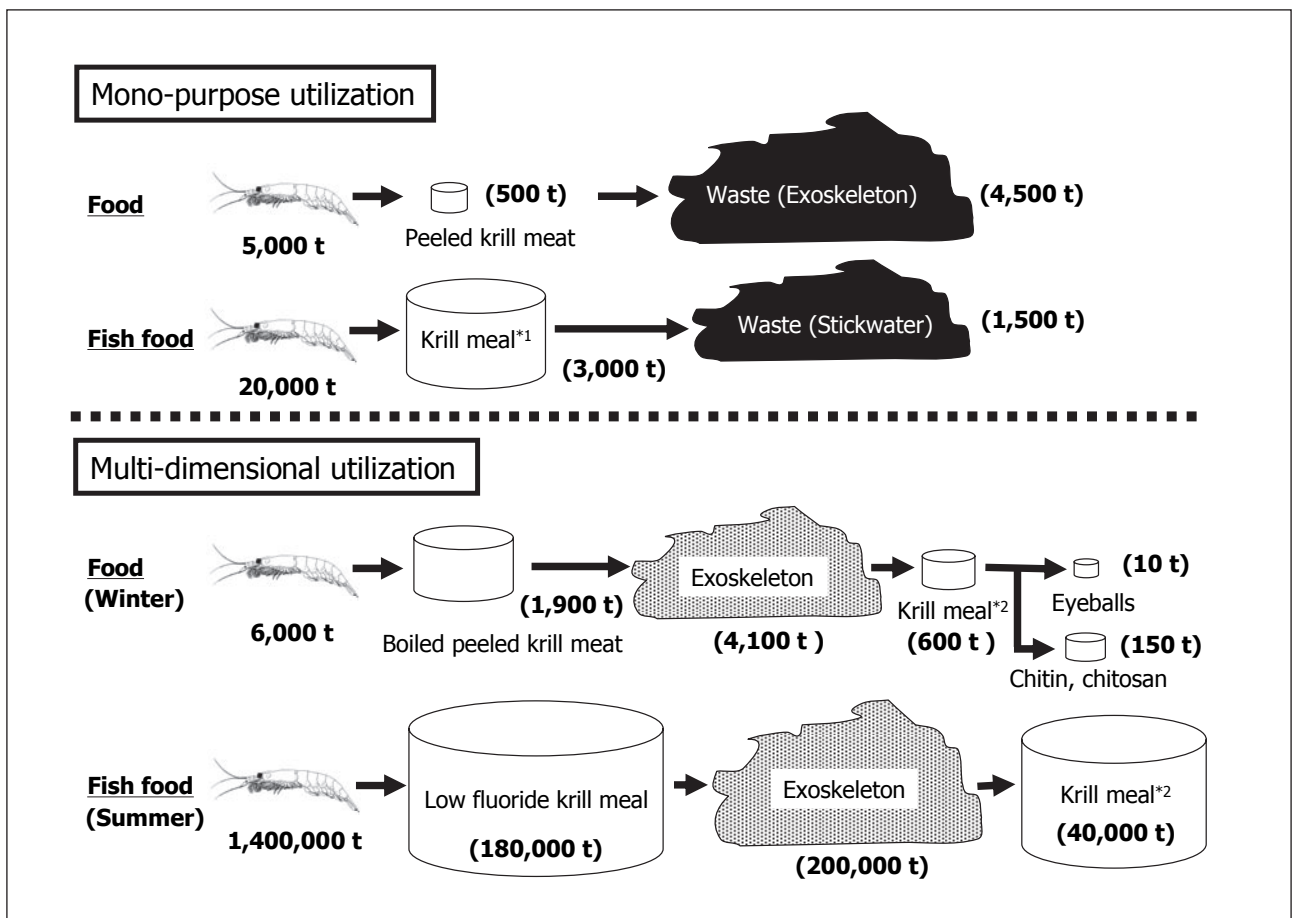


Fig. 7. Schematic diagram of current utilization of Antarctic krill (above the dotted line) and an example of multi-dimensional utilization (below the dotted line). The numbers below “Food” or “Fish food” mean the weight of crude Antarctic krill as a starting material. These between parentheses mean the weight of final products or wastes.

\*1 Krill meal; Traditional krill meal

\*2 Krill meal; High fluoride krill meal

利用の場合、約3,000トンの「オキアミミール」を製造すると約1,500トンのスティックウォーター（煮汁）が排出される。このように現状の方法では、利用しない部分は残滓となりその処理をしなければならない。一方、本研究で提案した多次元利用が図7の点線の下に示したものであるが、季節によって食料と飼料の漁獲物の利用目的を変え、出てきた残滓からはファインケミカルを抽出して廃棄物の量を可能な限り少なくする。

## 4.2. ナンキョクオキアミ資源の多次元利用の実用化検証

現状の日本市場要求量などを参考にし、以下では多次元利用の実用化を検討した（図7）。

### 4.2.1 ナンキョクオキアミの食料利用

現在のナンキョクオキアミ製品中で、食料用途は、「生むき身」と「ボイルオキアミ（殻付き）」で、これらの生産量は年間合計1,000トン程度である（遠洋水産研究所, 2006）。しかし、「生むき身」は冷凍解凍時に著しいドリップが発生して食感がスポンジ状化し、食味が低下する。さらに、「ボイルオキアミ（殻付き）」は外殻が残っているため、外殻の食感が悪く、しか

も高濃度のフッ素が残存している問題がある（Suzuki and Shibata, 1990）。

それらの問題を解決し、しかも市場受容性の高い製品が、本研究で開発されたナンキョクオキアミを煮熟し、脱殻したナンキョクオキアミボイルむき身（Boiled and Peeled Antarctic krill; BPK）である（図8）。BPKの外観はエビ類、それも加工食品用の小型むきエビに酷似し、市販化した場合、BPKはそれらの代替品もしくは競合品となる。そこで、BPKを日本市場へ導入する場合を以下で検証した。

Japan External Trade Organization（JETRO, 2007）によると、2006年に日本が輸入したエビならびに同調製品は約24万トン、一方、日本国内におけるエビ類生産量は輸入量の約1/9の2.7万トンである。ただし、国内生産品は生食などの用途が主で、国内の食品加工用エビ市場はほとんどが輸入品といえる。輸入品の中で、ナンキョクオキアミのボイルむき身に相当すると思われる製品はエビ調整品に分類され（表1）、統計品目番号が1605.20-011の「シュリンプ及びプローン（水煮または塩水煮後に冷凍、冷蔵したもの）」もしくは1605.20-021の「シュリンプ及びプローン（その他のもの、米を含む以外のもの、例えば味付けエビやエビフライ）」である。2006年度にはそれぞれ1.8万トンと5万トンの輸入量となり、そのほとんどがタイ、中国、インドネシアからである。しかしながら、以上述べた



Fig. 8. Boiled peeled Antarctic krill (BPK).

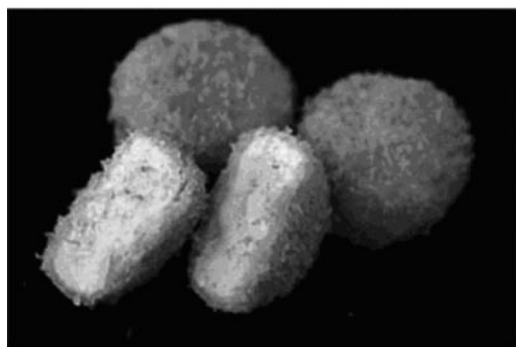
表1 日本国内へのえび調整品輸入品名と数量(2006年度) (Japan External Trade Organization (JETRO, 2007))

統計品目番号	品名	2006年度輸入数量 (トン)
1605.20-011	シュリンプおよびプローン (水煮または塩水煮後に冷凍、冷蔵したもの)	18,269
1605.20-019	シュリンプおよびプローン (くん製のもの、水煮または塩水煮後に塩蔵、塩水漬けもしくは乾燥したもの)	414
1605.20-021	シュリンプおよびプローン (その他のもの、米を含む)	204
1605.20-029	シュリンプおよびプローン (その他のもの、米を含む以外のもの)	50,016
1605.30-010	ロブスター (くん製のもの、水煮または塩水煮後に冷蔵、冷凍、塩蔵、塩水漬けもしくは乾燥したもの)	52
1605.30-020	ロブスター(その他のもの)	25
1605.40-011	その他のえび (くん製のもの、水煮または塩水煮後に冷蔵、冷凍、塩蔵、塩水漬けもしくは乾燥したもの)	244
1605.40-012	その他のえび(その他のもの)	151

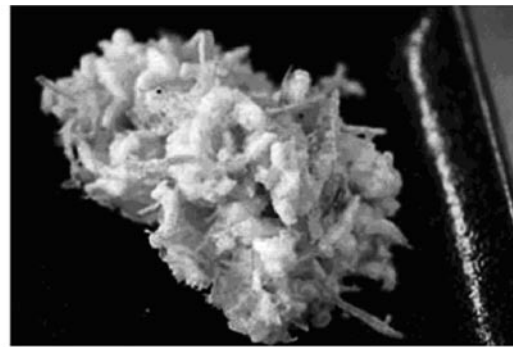
以外の輸入品細目はないため、正確にナンキョクオキアミに相当すると思われるエビ類の輸入数量は不明である。

そこで、5万トン輸入されている「シュリンプ及び

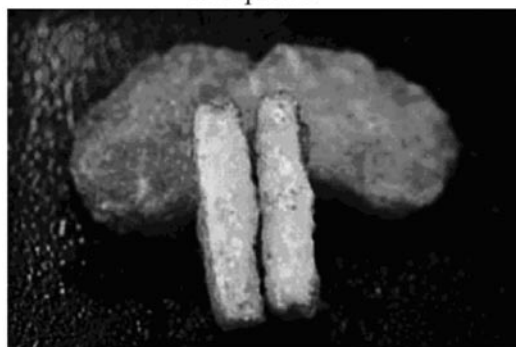
プローン (その他のもの、米を含む以外のもの、例えば味付けエビやエビフライ)」がすべてエビフライと仮定し、それが日本農林規格 (Japan Agricultural Standards ; JAS) を満たしているものとする、衣の



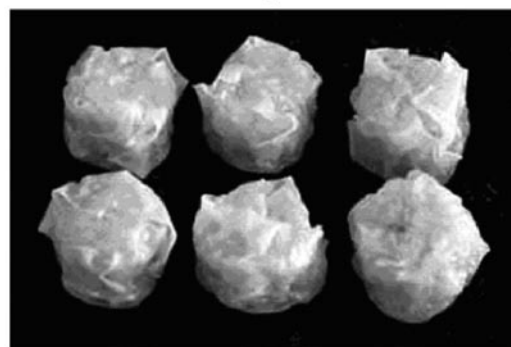
Croquette



Tempura



Fried fish paste



Steamed dumpling

Fig. 9. Applications of BPK for processed food.



重量比率は60%以下と決められているため、エビフライの中身のエビの量は約2万トンとなる。一方、BPKの場合、個々のオキアミのサイズは約0.3g程度と小さく、このままでは一般に云われるエビフライには相当しない。よって、この中で、BPKサイズの個体を結着して大型のエビ形状に再整形したエビフライ、例えば「エビ寄せフライ（味の素冷凍株式会社）」のような商品が占める割合を1割と仮定すると、約2,000トンがBPK相当品となる。同様に、「シュリンプ及びプローン（水煮または塩水煮後に冷凍、冷蔵したもの）」の1割がBPKサイズと仮定すると、約1,800トンとなり、両方の合計で3,800トンが日本におけるBPK相当品の市場となる。

また、日本水産株式会社商品開発センターがBPKを用いて各種加工食品を試作した結果（図9）、加工食品中の小型むきエビを約1/2重量までBPKで代替しても、加工食品の食感には変化が無く、むしろBPK由来のエビ風味が強くなり好ましいものであった。そこで、BPKで代替可能な市場は3,800トンの1/2の1,900トンとなる。BPKの製造歩留まり（生のナンキョクオキアミに対するBPKの湿重量比）は日本水産株式会社のオキアミトロール船新高丸による試験で約3割であることがわかっている。よって、原料として約6,000トンのナンキョクオキアミが必要となる。また、BPK製造時に約4,000トンの残滓が生ずるが、これは脱水して乾燥後、ファインケミカル抽出原料として眼球採取などに利用する。

なお、2002年度のエビの消費状況は中国（642万トン）、北米（602万トン）、欧州（45.4万トン）、アジア（36.8万トン）となっており、日本市場の約7倍が海外で消費されている（FAO, 2004）。よって、海外におけるBPK予想需要はBPKの予想国内需要である1,900トンの7倍の約13,000トンとなり、そのためには原料として約40,000トンのナンキョクオキアミが必要となる。

#### 4.2.2 ナンキョクオキアミの飼料利用

日本で生産されている養魚用飼料は約44万トン（日本水産油脂協会, 2006）で、飼料中の平均魚粉使用量は約40%である。したがって、約18万トンの魚粉が水産養殖飼料として使用されていることとなる。この量をすべてLFKで代替すると、必要なオキアミの量は約140万トンとなる（LFK製造歩留まりは、ナンキョクオキアミに対するLFKの湿重量比で約13%である）。この場合、外殻などの残滓として排出される量は約20万トンで、この外殻画分にも筋肉由来のタンパク質、

脂質、色素などの成分が残存しているため、再度、乾燥してオキアミミールを製造することが可能である。この場合、約4万トンのミールが生産されるが、フッ素濃度が通常のナンキョクオキアミミールよりも高くなる。しかし、大西洋サケ（*Salmo salar* Linnaeus）などは飼料由来のフッ素感受性が低く、成長に大きな影響を与えない魚種の魚粉代替原料として使用可能であると報告されている（Julshamn et al, 2004; Olsen et al, 2006; Rungruangsak-Torrison, 2006; Moren et al, 2007）。そのような用途がない場合には、前述の食料利用と同じくファインケミカル抽出原料に利用する。

一方、2002年の世界の魚粉生産量は約640万トンで（FAO, 2004）、これを全量、LFKで代替すると、約4,900万トンのナンキョクオキアミが必要となり、予防的漁獲枠を大きく超過する。予防的漁獲枠の489万トンを最大限使用した場合、約64万トンのLFKが得られる。

#### 4.2.3 ナンキョクオキアミのファインケミカル利用

第4.2.1章で検討した日本国内の食料利用で排出されると予想される約4,100トンの残滓を乾燥処理し、約600トンの乾燥残滓を得る。その中からナンキョクオキアミ眼球を精製すると（製造歩留まりは外殻に対する眼球の湿重量比で約0.2-0.3%である）、約10トンの眼球と約590トンの主に外殻から成る乾燥残滓が出る。約10トンの眼球からは約30kgのアスタキサンチン、500kgのリン脂質、そして、約200kgのn-3系高度不飽和脂肪酸が得られる。約590トンの乾燥外殻残滓は脱灰後、希アルカリ液により脱アセチル化するとキトサンが得られる。キチン濃度はナンキョクオキアミ全魚体の2.4-2.7%（乾重量）と報告されており（Nicol and Hosie, 1993）、約150トンのキチンが得られる。飼料利用で排出する残滓を、再度、フッ素感受性の高い魚種の飼料原料として利用せずにファインケミカル抽出として利用する場合、以上と同じ検討内容となる。

ナンキョクオキアミで期待されるファインケミカルとしては、アスタキサンチン、リン脂質、EPA（Eicosapentaenoic acid）、DHA（Docosahexaenoic acid）等のn-3系高度不飽和脂肪酸の脂溶性画分である（Shibata, 1983; Yamaguchi et al, 1983; Storebakken, 1988; Fisher et al, 1995）。しかし、これらのファインケミカル分野には競合者が多い。例えば、天然アスタキサンチン源では第3.3章で述べた藻類の*Haematococcus pluvialis* Flotow（Lorenz and Cysewski, 2000）、リン脂質源では大豆レシチン、n-3系高度不飽和脂肪酸源で

はイワシ等の魚油がそれぞれ市場を占拠している。したがって、ナンキョクオキアミのファインケミカルがこれらの既存のものとの競争に打ち勝つためには、製品の優位性や、低価格といった付加価値をつける必要がある。例えば、ナンキョクオキアミのアスタキサンチンが他の天然アスタキサンチンと異なり疎水性が高いジエステル型のために生体内での迅速な吸収が期待されることや (Clark et al, 2000 ; Takaichi et al, 2003)、リン脂質は植物系リン脂質と異なりn-3系高度不飽和脂肪酸を豊富に含むこと (柴田, 1983) などの特徴を活かした市場作りである。また、これらのファインケミカルは食料や飼料原料としての利用の際に排出される廃棄物を利用するので、ファインケミカル抽出の原材料を得るための費用負担はなく、必要であれば食料や飼料利用の際の廃棄物処理費用を上乗せすることにより、製品価格を下げて競争力を高めることも可能である。

#### 4.3. ナンキョクオキアミのバイオマス資源とその管理

ナンキョクオキアミ資源を多次的に持続利用するには、資源管理の徹底が必要である。CCAMLRによって行われている南極海の生物資源管理は以下の原則に基づいている。

- 1) 対象資源の安定した加入を確実にするために、資源量を最大年間純増加量 (年間の資源増加量が最大となる資源量) 以下に減少させない。
- 2) ナンキョクオキアミ資源とそれに直接・間接的に関係するすべての資源の生態的関係を維持する。いずれかの資源が増減した場合は元の安定水準まで回復させる。
- 3) 南極の生物資源の持続的保存のため、海洋生態系の復元に20-30年を要するような生態系の変化は避ける、またはその危険性を最小限にする。

CCAMLRの具体的な資源管理は第2章で述べたように、漁獲量制限によって進められている。そのために必要な主要情報源は、南極海で操業する漁船の漁獲データ、漁船に乗船した科学オブザーバーによるデータ、科学調査船で得られる生物・環境・生態等の科学データ、そしてCCAMLRが指定している生態系モニタリング計画のデータ (ペンギン、アザラシ、飛翔海鳥の繁殖地における各国の調査データ) であり、これらのデータを基にして毎年、複数の研究会議が世界各国で開催されている (永延, 2003)。

以上述べたように、ナンキョクオキアミ資源は

CCAMLRにより厳格に管理されているため、予防的漁獲制限量の範囲内での漁獲であればナンキョクオキアミの資源を維持しつつ、生態系に対する影響も最小に抑えながら、ナンキョクオキアミを持続的なバイオマス資源 (循環型) として有効に利用することが可能と考えられている。

#### 5. まとめ

社会の持続性の強化には、現行の20世紀型の非再生型資源利用から、再生型資源利用への転換が喫緊の課題である。本研究では、再生型資源としてバイオマスを取り上げ、その資源利用を検討した。バイオマス資源、特に自然生態系の資源を用いる際には、利用量を必要最小限にすることが重要である。そのためには従来型である「資源の単一利用目的」ではなく、複数資源を利用しながら、様々な次元から資源の徹底的な利用を検討する多次元利用を考えた。これは使用する資源量を少なくするだけでなく、資源利用で問題となる廃棄物の極少化にもつながる。重要な点は、資源の「多次元利用」であり、「多目的利用」ではないことである (図10)。目的利用とは、先ず目的があり、資源をその目的に合った最終物に変換することであるが、その過程で排出される廃棄物には配慮されていない。しかし、多次元利用とは加工工程中で排出された廃棄物も含むすべての産品を、様々な次元から考察して価値を見出すものである。よって、資源の多次元利用において、新しい次元を持ち込めば、資源の利用方法は無限に変化するし、また変化させることで資源利用の新しい可能性を探り続けることが出来る。この点は資源とその最終目的物という関係で固定化された「多目的利用」と根本的に異なるところである。つまり、「多次元利用」とは資源利用についての考え方であり、未利用資源はもちろんのこと、既利用資源についても「多次元利用」の観点から見直すことで、新たな価値を創出するものである。

本研究では資源として注目されいながら、利用の進んでいないナンキョクオキアミを対象として前述の資源の多次元利用を検討した。その結果、ナンキョクオキアミは食料用途としては小型むきエビ代替原料として、水産養殖飼料用途としては魚粉代替原料として、それぞれの用途における現状の資源利用と同等に利用できる方法を開発した。さらに、食料や飼料の利用で排出される残滓 (廃棄物) はファインケミカルの抽出原料として有効利用し、ゼロエミッション型の資源利用の概念を提出した。

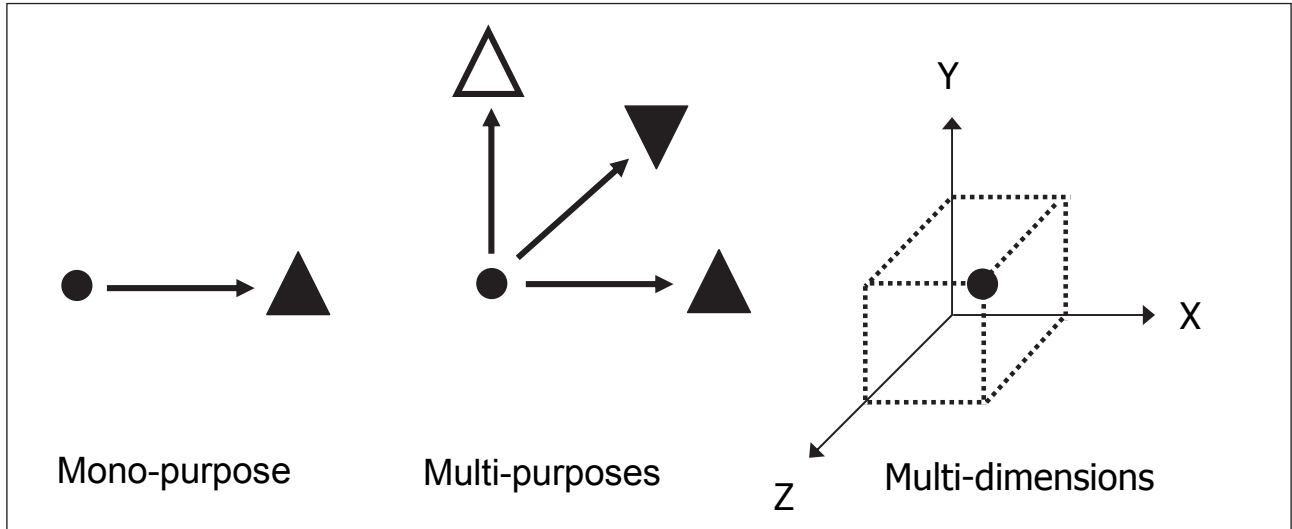


Fig. 10. Conceptual diagram of different resource utilization schemes comparing with mono-purpose, multi-purposes and multi-dimensions.

従来の単一目的の資源利用では、ナンキョクオキアミのように生息域が資源を利用する地域（市場や消費地）から遠隔地の場合、原材料確保や輸送の費用が生産コスト中に占める割合が大きかった。しかし、多次元利用にすることで資源確保の費用が利用次元毎に分担出来るため、他の競合する資源利用とのコスト競争力も増大する。このように本研究では、ナンキョクオキアミのバイオマス資源の利用だけでなく、バイオマス資源の利用のあり方、つまり多次元利用の経済的、環境科学的メリットをより明確にした。

平成12年6月2日に循環型社会の実現に向けて、3R (Reduce, Reuse, Recycle) が基本軸となる「循環型社会形成推進基本法」が交付された。最近では月尾(2006)がこの3Rに2つのR (Repair, Renewable) の追加を提案している。我々はさらに、本研究の目的である、Complete utilization of resourcesを加え、5RICを提案する。

本研究の「ナンキョクオキアミ資源の多次元利用」を一つの事例として、他のバイオマス資源利用にも応用することにより、持続型・循環型社会の形成強化が望まれる。

## 文献

Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E., Rothery, P., 2004. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature* 432, 100-104.

Blanco, M., Sotelo, C. G., Chapela, M. J., Pérez-Martín, R. I., 2006. Towards sustainable and efficient use of fishery resources: present and future trends. *Trends Food Sci. Tech.* 18, 29-36.

Brown, L. R., 2003. A Planet Under Stress. In: *PLAN B Rescuing a Planet Under Stress and a Civilization in Trouble*. Norton & Company, NY. pp. 3-19.

Bunea, R., El Farrah, K., Deutsch, L., 2004. Evaluation of the effects of Neptune krill oil on the clinical course of hyperlipidemia. *Altern. Med. Rev.* 9, 420-428.

Bykowski, P. J., 1986. Possibilities of utilizing Antarctic krill. *Infotish. Marketing Digest* 6/86, 11-13.

CCAMLR, Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, 2000. Report of the Nineteenth meeting of the Scientific Committee SC-CCAMLR-XIX. CCAMLR, Hobart.

Clark, R. M., Yao, L., She, L., Furr, H. C., 2000. A comparison of lycopene and astaxanthin absorption from corn oil and olive oil emulsions. *Lipids* 35, 803-806.

Deutsch, L., 2007. Evaluation of the Effect of Neptune Krill Oil on Chronic inflammation and Arthritic Symptoms. *J. Am. Coll. Nutr.* 26, 39-48.

遠洋水産研究所、2006. 南極海オキアミ漁場図(23)平成16年度(2004/05).

Everson, I., 2000a. Introducing Krill (Chapter 1). In:



- Everson, I. (Ed), Krill Biology, Ecology and Fisheries. Black well Science, Oxford, UK. pp. 1-8.
- Everson, I., 2000b. The Southern Ocean (Chapter 7). In: Everson, I. (Ed), Krill Biology, Ecology and Fisheries. Black well Science, Oxford, UK. pp. 194-201.
- Flavin, C. (クリストファー・フレイヴィン、編)、2006. 地球白書2006-07. ワールドウォッチ研究所.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2004. Year Book of Fishery Statistics Summary Tables. Sales and Marketing Group, Information Division, FAO, Rome, Italy.
- Gajowiecki, L., 1995. Effects of feeding intensity of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) on qualitative and quantitative composition of its volatile compounds. *Adv. Agr. Sci.* 4, 75-82.
- Government of Japan, 2003. Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society (Tentative Translation by Ministry of the Environment), March.
- Hatanaka, H., 2004. Antarctic krill resource stable at high level. (In) Media release of the institute of cetacean research. <http://www.icrwhale.org/eng/KRILL.pdf>.
- Ikeda, T., Dixon, P., 1982. Body shrinkage as a possible over-wintering mechanism of the Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 62, 143-151.
- Japan External Trade Organization (JETRO), 2007. Jetro agro-trade handbook 2007. Tokyo, Japan, pp367-373.
- Kawaguchi, K., Ishikawa, S., Matsuda, O., 1986. The over wintering strategy of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) under the coastal fast ice off the Ongul Islands in Lutzow-Holm Bay, Antarctica. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Special Issue.* 44, 67-85.
- 川口弘一、2005. 南極海の自然史 ノトセニア魚類の世界から. 東海大学出版会.
- Keith Moore, J., Abbott, M. R., 2002. Surface chlorophyll concentrations in relation to the Antarctic Polar Front: seasonal and spatial patterns from satellite observations. *J. Marine Syst.* 37, 69-86.
- Koops, H., Tiews, K., Gropp, J., Beck, H., 1979. Krill in trout diets. *Proc. World Symp. Finfish Nutrition and Fishfeed Technology.* Hamburg, 20-23 June 1978, vol. II. Heenemann, Berlin, pp.281-292.
- Lorenz RT, Cysewski GR. 2000. Commercial potential for *Haematococcus microalgae* as a natural source of astaxanthin. *Trends Biotechnol.* 18, 160-170.
- Maoka, T., Katsuyama, M., Kaneko, N., Matsuno, T., 1985. Stereochemical Investigation of Carotenoids in the Antarctic Krill *Euphausia superba*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 51, 1671-1673.
- Mauchline, J., Fisher, L. R., 1969. The biology of euphausiids. *Adv. Mar. Biol.* 7, 1-454.
- Mori, M., Yasuda, S., Nagahisa, E., 1976. Studies on the Antarctic Krill, *Euphausia superba*-IV Carotenoids. *Rep. Cent. Res. Lab. Nippon Suisan Kaisha, Ltd.* 11, 18-27.
- 永延幹男、2003. 南極海 極限の海から. 集英社新書、集英社.
- Nicol, S., Hosie, G. W., 1993. Chitin production by krill. *Biochem. System. Ecol.* 21, 181-184/
- Nicol, S., Endo, Y., 1999. Krill fisheries: Development, management and ecosystem implications. *Aquat. Living Resour.* 12, 105-120.
- Nicol, S., Forster, I., Spence, J., 2000. Products Derived from Krill (Chapter 10). In: Everson, I. (Ed), Krill Biology, Ecology and Fisheries. Black well Science, Oxford, UK. pp. 262-283.
- Nicol S., Foster J., 2003. Recent trends in the fishery for Antarctic krill. *Aquat. Living Resour.* 16, 42-45.
- 日本水産油脂協会、2006. 2005年水産油脂統計年鑑.
- Ooizumi, T., Usuki, E., Yabe, K., Arai, K., 1983. Digestibility of actomyosin of Antarctic krill *Euphausia superba* by its digestive protease. *Nippon Suisan Gakkaishi* 49, 113-121.
- 尾崎弘忠、1981. オキアミの脱殻技術とスクリーングライNDER法. *食品工業* 24, 34-44.
- Sampalis, F., Bunea, R., Pelland, M. F., Kowalski, O., Duguet, N., Dupuis, S., 2003. Evaluation of the effects of Neptune krill oil on the management of premenstrual syndrome and dysmenorrheal. *Altern. Med. Rev.* 8, 171-179.
- Sands, M., Nicol, S., McMinn, A., 1998. Fluoride in Antarctic marine crustaceans. *Mar. Biol.* 132, 591-598.
- 柴田宣和、1983. 南極オキアミの脂質含量および脂質成分に及ぼす漁期の影響. *日本水産学会誌* 49, 259-264.
- Siegel, V., 1989. Winter and spring distribution and status of the krill stock in the Antarctic Peninsula waters. *Archiv fur Fischereiwiss* 39, 45-72.
- Siegel, V., Nicol, S., 2000. Population Parameter (Chapter 5). In: Everson, I. (Ed), Krill Biology, Ecology and Fisheries. Black well Science, Oxford, UK. pp. 103-149.
- Sjödahl, J., Emmer, A., Vincent, J., Roeraade, J., 2002.

Characterization of proteinases from Antarctic krill (*Euphausia superba*). *Protein Expres. Purif.* 26, 153-161.

Soevik, T., Breakkan., O. R., 1979. Fluoride in Antarctic krill (*Euphausia superba*) and Atlantic krill (*Meganyctiphanes norvegica*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 36, 1414-1416.

Suzuki, T., Shibata, N., 1990. The utilization of Antarctic krill for human food. *Food Rev. Int.* 6, 119-147.

Takahashi, M., 2000. A New Outlook and New resources. In: Takahashi, M., DOW Deep Ocean Water as Our Next Natural Resource. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo. pp. 1-8.

Takaichi, S., Matsui, K., Nakamura, M., Muramatsu, M., Hanada, S., 2003. Fatty acids of astaxanthin esters in krill determined by mild mass spectrometry. *Comp. Biochem. Phys. B.* 136, 317-322.

Thomas, P. G., Ikeda, T., 1987. Sexual regression, shrinkage, rematuration and growth in female *Euphausia superba* in the laboratory. *Mar. Biol.* 95, 357-363.

Tou, J. C., Jaczynski, J., Chen, Y., 2007. Krill for human consumption: Nutritional value and potential health benefits. *Nutr. Rev.* 65, 63-77.

Trathan, P. N., Watkins, J. L., Murray, A. W. A., Brierley, A. S., Everson, I., Goss, C., et al., 2001. The CCAMLR 2000 krill synoptic survey: a description of the rationale and design. *CCAMLR Sci.* 8, 1-24.

月尾嘉男、2006. イラスト図解 地球共生 - 美しいこの星を守り抜くために. 第3章、講談社.

Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Dyffo, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., Watson, R., 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314, 787-790.

Yoshitomi, B., 2005. Seasonal variation of crude digestive protease activity in Antarctic krill *Euphausia superba*. *Fish. Sci.* 71, 12-19

Yoshitomi, B., Aoki, M., Oshima, S., Hata, K., 2006. Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture* 261, 440-446.

Yoshitomi, B., Aoki, M., Oshima, S., 2007a. Effect of total replacement of dietary fish meal by low fluoride krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water. *Aquaculture* 266, 219-225.

Yoshitomi, B., Yamaguchi, H., 2007b. Chemical composition of dried eyeballs from *Euphausia superba* and *Euphausia pacifica*. *Fish. Sci.* 73, 1185-1193.

Multi-dimensional utilization of marine biomass resource: Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) .

Bunji Yoshitomi<sup>1)</sup> Syun-ichiro Oshima<sup>1)</sup> and Masayuki Mac Takahashi<sup>2)</sup>

1) Central Research Laboratory, Nippon Suisan Kaisha, Ltd. 559-6 Kitano-machi, Hachioji, Tokyo 192-0906, Japan

2) Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, Monobe-otsu, Nankoku-shi, Kochi 783-8502, Japan

**Abstract :** In order to reinforce the sustainability of human society, the concept and possibility of multi-dimensional resource utilization of recycle type biomass have been studied with Antarctic krill. Basic utilization of Antarctic krill for human foods, fish foods in aquaculture and fine chemicals has been developed. Based upon the developed basic utilizations, multi-dimensional resource utilization of Antarctic krill biomass was evaluated. Antarctic krill having high activity of proteolytic enzyme in the hepatopancreas due to phytoplankton in the digestive tract during summer can be used for fish foods, and that during winter having low activity with almost empty hepatopancreas is suitable for human foods. Any waste including exoskeleton and eyeballs can be used to extract fine chemicals such as astaxanthin, vitamin A and n-3 polyunsaturated fatty acids. This type of multi-dimensional utilization of biomass can reduce expenses for obtaining biomass by sharing between utilization purposes, and reduce total requirement of biomass due to multiple purposes of utilization as well as minimizing waste production. This multi-dimensional utilization of biomass can be applied to the other various biomass resources as well.

**Key word :** Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana, Multi-dimensional utilization, Biomass resource, renewable resource, food, fish meal, fine chemical